

(11)特許出願公開番号

(P2002-4003A)

(43)公開日 平成14年1月9日(2002.1.9)

テーマコード* (参考)

301Z 3J033

A 4K042

C 2 2 C 38/18

F 1 6 C 3/02

審査請求 未請求 請求項の数1 OL (全 7 頁)

(71)出願人 000004204

東京都品川区大崎1丁目6番3号

(72) 発明者 平川 清

日本精工株式会社内

(72)発明者 福島 弘志

日本精工株式会社内

(74) 代理人 100066980

弁理士 森 哲也 (外2名)

Fターム(参考) 3J033 AA01 AB03 AC01

4K042 AA14 AA22 AA23 BA03 BA04

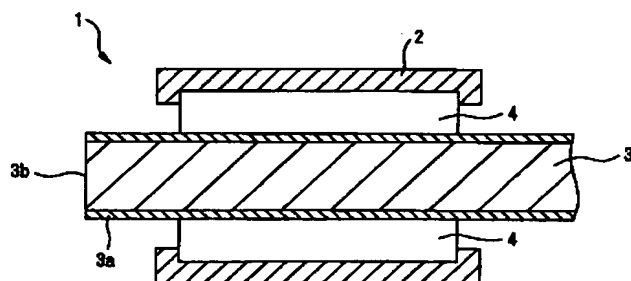
CA01 CA06 DA01 DB01

(54) 【発明の名称】 転動軸

(57) 【要約】

【課題】 耐転がり疲労性に優れていて、塑性変形の生じにくい転動軸を提供する。

【解決手段】 ラジアルニードルころ軸受1が備える転動体4に対して相対的に転動する転動軸3において、0.5～1.2wt%の炭素を含有する鋼で構成するとともに、窒素を0.05～0.4wt%含有し、高周波焼入れによりピッカース硬さをHv650以上とし、且つ残留オーステナイトが15～40vol%である表面層3aを設け、さらに芯部の残留オーステナイトを0vol%とした。



(2)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 相手部材に対して相対的に転動する転動軸において、

0.5～1.2wt%の炭素を含有する鋼で構成するとともに、

窒素を0.05～0.4wt%含有し、高周波焼入れによりピッカース硬さをHv650以上とし、且つ残留オーステナイトが15～40vol%である表面層を設け、さらに芯部の残留オーステナイトを0vol%としたことを特徴とする転動軸。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、転動軸に係り、特に、転がり軸受（特に、ラジアルニードル軸受）の内輪に相当する転動軸に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、ラジアルニードル軸受の内輪に相当する転動軸は、SUJ2等のずぶ焼入れ鋼に焼入れ・焼戻しを施して、ピッカース硬さをHv650以上として使用されてきた。その際には、旋削等の加工上の要求から、ピッカース硬さがHv300以下の転動軸の外周面に前記加工を施した後に、前記外周面に高周波焼入れを施してピッカース硬さをHv650以上としていた。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、近年、ラジアルニードル軸受は高荷重で使用される場合が増加していて、その場合には、ラジアルニードル軸受の内輪に相当する転動軸の耐転がり疲労性が、従来のSUJ2等のようなずぶ焼入れを施したものや、通常の高周波焼入れを施したものでは不十分となってきた。不十分となる耐転がり疲労性の多くは、潤滑剤の汚染や供給不足によって転動軸の軌道面の表面で発生する表面疲労に対する耐性（耐表面疲労性）である。

【0004】このような表面疲労は、ラジアルニードル軸受においては、表面から転動体直径Daの2%に相当する深さ（以後、「2%Da」と記す）までの部分又は表面から絶対値深さで0.1mmまでの部分に発生し、特に、表面から0.05mmまでの部分に大きな表面疲労が発生する。耐表面疲労性を向上させるためには、疲労を受ける表面層の残留オーステナイトが15～40vol%（望ましくは20～35vol%）であることが必要であるが、SUJ2等の軸受鋼におけるずぶ焼入れや通常の高周波焼入れによって、残留オーステナイトを15～40vol%（望ましくは20～35vol%）にするためには、焼入れ温度を高くしなければならず、そうすると焼入れ硬化部のオーステナイト結晶粒が粗大化して、耐表面疲労性が低下するという問題点があった。

【0005】また、残留オーステナイトが存在したとしても、高荷重で使用されるSUJ2等の軸受鋼（ずぶ焼

2

入れ）からなる転動軸においては、該転動軸に発生する応力が弾性限界以内の応力であっても、該応力による残留オーステナイトの経時的な分解（マルテンサイトへの変態）に伴って塑性変形が生じるという不具合が発生することが分かった。

【0006】さらに、従来の転動軸は、ピッカース硬さがHv300以下で炭素濃度が0.4wt%以下の素材（SC、SCr、SCM、SNCM）の外周面に高周波焼入れを施したものであり（表面層の硬さはHv650以上）、表面層以外の部分（芯部）の硬さはHv300以下であるので、大きな衝撃荷重が加わった場合には、塑性変形を生じる恐れがあるという問題点を有している。

【0007】そこで、本発明は上記のような従来の転動軸が有する問題点を解決し、耐転がり疲労性に優れていて、塑性変形の生じにくい転動軸を提供することを課題とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するため、本発明は次のような構成からなる。すなわち、本発明の転動軸は、相手部材に対して相対的に転動する転動軸において、0.5～1.2wt%の炭素を含有する鋼で構成するとともに、窒素を0.05～0.4wt%含有し、高周波焼入れによりピッカース硬さをHv650以上とし、且つ残留オーステナイトが15～40vol%である表面層を設け、さらに芯部の残留オーステナイトを0vol%としたことを特徴とする。

【0009】このとき、表面に0.05～0.4wt%の窒素を侵入させた後に、高周波焼入れを施して、ピッカース硬さがHv650以上で且つ残留オーステナイトが15～40vol%である表面層を設ける方法により前記転動軸を製造すれば、前記表面層のオーステナイト結晶粒を粗大化させることなく、前記残留オーステナイトを形成させることができる。そして、これにより軌道表面（前記表面層）の耐転がり疲労性を高めることができる。

【0010】また、表面に0.05～0.4wt%の窒素を侵入させた後に、焼入れ・焼戻しを施して転動軸の全体の硬さをHv300～500（望ましくはHv400～500）に調質し、その後に高周波焼入れを施して、ピッカース硬さがHv650以上で且つ残留オーステナイトが15～40vol%である表面層を設ける方法により前記転動軸を製造すれば、上記の方法と同様に軌道表面（前記表面層）の耐転がり疲労性を高めることができるとともに、前記表面層以外の部分（芯部）の硬さをHv300～500（望ましくはHv400～500）とし、且つ前記表面層以外の部分（芯部）の残留オーステナイトを0vol%とすることができるから、これにより、前記転動軸に発生する応力（弾性限界以内の応力）による前記残留オーステナイトの経時的な分解に

(3)

3

に伴う塑性変形を防止でき、さらに、大きな衝撃荷重が加わった際の塑性変形を防止できる。

【0011】なお、本発明における表面層とは、表面から2%Daまでの部分又は表面から絶対値深さで0.1mm(特に、0.05mm)までの部分を意味する。ここで、上記の各数値の臨界的意義について説明する。

〔鋼の炭素濃度：0.5~1.2wt%〕炭素濃度が0.5wt%未満であると、高周波焼入れにより前記表面層及び高周波焼入れ部の硬さを安定してHv650

(Hrc58)以上とすることが難しい。転動軸の寸法がどのようなものであっても好ましい硬さであるHv650(Hrc58)以上とするためには、下限を0.5wt%とする必要がある。

【0012】なお、浸炭窒化法により浸炭する場合においては、前記表面層に微細な(0.5~1.0μm)炭窒化物を形成するためにも、炭素は0.5wt%以上必要である。また、炭素濃度が1.2wt%超過であると、鋼中に巨大な炭化物が生成しやすくなり、転がり寿命を低下させる。

【0013】〔表面層の窒素濃度：0.05~0.4wt%〕窒素を炭素とともに焼入れ後の組織に固溶すると、マトリックスを強化する効果がある。このことにより、表面硬さが向上し焼戻し抵抗性も向上することから、広い温度範囲にわたって耐摩耗性を得ることができ、それにより転動軸の寿命を向上することができる。

【0014】窒素濃度が0.05wt%未満では、耐摩耗性が不十分となり、表面層の残留オーステナイトを15vol%以上とすることが困難となる。また、0.4wt%を越えると、熱処理後の加工(研磨、研削等)に時間を要し、後加工コストが増大する。耐摩耗性と後加工コストとを最適なものとするには、0.1~0.3wt%とすることがより好ましい。

【0015】特に、転動面を支え表面疲労を生じにくくさせるための表面層を、完成転動軸の表面から0.05mm以上もしくは2%Daまでの部分とし、これらの位置(表面から0.05mm以上もしくは2%Daの位置)での窒素濃度を0.1wt%以上、好ましくは0.2wt%以上とすることが望ましい。

〔表面層の硬さ：ピッカース硬さHv650(Hrc58)以上〕表面層の硬さがHv650未満であると、表面層の硬さが不十分であるため表面疲労(転動疲労)が早期に発生し、転動軸の寿命が低下する。

【0016】〔芯部の硬さ：ピッカース硬さHv300~500〕Hv300未満であると転動軸が降伏を生じやすくなって、大きな衝撃荷重により塑性変形が生じやすくなり、転動軸の曲がりが大きくなる。すると、転がり軸受の転動体等の相手部材(ラジアルニードル軸受の場合はニードル)から荷重が作用した際に局所表面疲労が生じて、結果として転動軸の寿命が低下する。

【0017】また、Hv500超過であると、降伏は生

4

じにくくなるものの靱性が低下(破断伸びが低下する)するため、大きな衝撃荷重により転動軸が折損する恐れがある。塑性変形の防止と耐衝撃性の面から、Hv400~500とすることがより好ましい。

〔表面層の残留オーステナイト量：15~40vol%〕例えば、ニードル軸受が自動車のトランスミッションやエンジン駆動系で使用される場合には、潤滑油に摩耗粉などの異物が混入したり、潤滑油の供給不足から表面疲労が生じやすくなる。本発明においては、表面を硬くすることや表面に炭窒化物を存在させることのほかに、残留オーステナイトによる一種のダンパー効果によって表面疲労を減ずることができることを見いだした。

【0018】残留オーステナイトが15vol%未満では、表面疲労を緩和するダンパー効果が少なく、転動軸の疲労寿命が低下する。また、40vol%を越えると、表面硬さを減じてしまうので、耐摩耗性や耐表面疲労性がかえって損なわれる。残留オーステナイトを20~35vol%とすれば、優れた疲労寿命が安定して得られるので、さらに好ましい。

【0019】〔芯部の残留オーステナイト量：0vol%〕残留オーステナイトが存在すると、マルテンサイトへの変態によって塑性変形が生じる。表面層の残留オーステナイト量の影響も多少はあるが、芯部は転動軸の体積の大部分を占めることから、芯部に残留オーステナイトが存在すると、転動軸に塑性変形が生じやすく、転動軸の曲がりが大きくなり、結果として転動軸の疲労強度が低下する(曲げ応力などによる局所の表面疲労により)。すなわち、芯部の残留オーステナイトを0vol%とすれば、表面層に残留オーステナイトが存在しても、転動軸の塑性変形はほとんど生じない。

【0020】調質によって0vol%としてもよいし、残留オーステナイトが0vol%の素材をそのままの状態で使用してもよい。そうすれば、転動軸は外部応力や熱によって変形しにくい。以上のように、本発明においては、転動軸の芯部の残留オーステナイトを0vol%とし、芯部の硬さをHv300~500とすることにより、転動軸に作用する外力による塑性変形を防止している。また、転動体と転動する表面層に、硬さと窒素量と残留オーステナイトとを付与することにより、転動寿命を向上させたものである。

【0021】

〔発明の実施の形態〕本発明に係る転動軸の実施の形態を、図1を参照して詳細に説明する。図1に示す遊星歯車用のラジアルニードルころ軸受1は、外輪2と、内輪に相当する転動軸3と、外輪2と転動軸3との間に転動自在に配設された複数の転動体4と、外輪2と転動軸3との間に複数の転動体4を保持する図示しない保持器と、から構成されている。この転動軸3は、相手部材である転動体4に対して相対的に転動するものである。なお、前記保持器は備えていなくてもよい。

(4)

5

【0022】外輪2及び転動体4は、S U J 2等のずぶ焼入れ用の軸受用鋼に、焼入れ・焼戻しあるいは浸炭窒化後に焼入れ・焼戻しを施したものである。また、前記保持器は、S P C C等の板材をプレス加工等により加工した後、熱処理を行わずそのまま使用するか、あるいは浸炭又は浸炭窒化後に焼入れ・焼戻しを施して使用されている。

【0023】また、転動軸3は、0.5～1.2wt%の炭素を含有する鋼で構成されていて、軌道面を構成するその外周面に後述のような表面層3aを備えている。この表面層3aは、転動軸3の外周面の表面から絶対値深さで0.05mm以上2%D a以下の部分に、0.05～0.4wt%の窒素を侵入させた後、高周波焼入れを施して前記部分を含む転動体荷重から必要とされる深さ（表面から絶対値深さで0.5mm以上0.5D a以下）をH v 6 5 0以上に硬化させ、前記部分の残留オーステナイトを15～40v o l %とすることにより形成したものである。このような表面層3aを備えていることから、転動軸3の軌道面は優れた耐転がり疲労性を有している。

【0024】なお、転動軸3は、外周面の表面から絶対値深さで0.05mm以上2%D a以下の部分に0.05～0.4wt%の窒素を侵入させた後、焼入れ・焼戻しを施して全体の残留オーステナイトを0v o l %、硬さをH v 3 0 0～5 0 0（望ましくはH v 4 0 0～5 0 0）に調質し、その後に高周波焼入れを施して、前記部分（表面層3a）を含む必要とされる深さまでをH v 6 5 0以上に硬化させ、前記部分（表面層3a）の残留オーステナイトを15～40v o l %としたものでもよい。

【0025】このような転動軸3は、転動軸3全体の硬さが高いこと、及び表面層3aと高周波焼入れによる硬化部以外の部分（芯部）の残留オーステナイトが0v o l %であることから、大きな衝撃荷重が加わった際の転動軸3の塑性変形を防止でき、また、転動軸3に発生する弾性限界以内の応力による残留オーステナイトの経時的な分解に伴う塑性変形を防止できる。

【0026】いずれの転動軸3であっても、前記軌道面の耐表面疲労性を高めるためには、窒素の侵入深さは0.05mm以上2%D a以下が必要である。また、表面層3aの窒素濃度が0.05～0.4wt%であることから、高周波焼入れ後の表面層3aの残留オーステナイトを15～40v o l %とすることができる。なお、表面に窒素を侵入させる方法としては、浸炭窒化法の他、塩浴室化、ガス窒化、イオン窒化法等があげられる。また、高周波焼入れは、転動軸3の外周面に長手方

6

向全体にわたって施す場合と、軸端部をかしめ加工するために、転動体4が接触する部分（軌道面）のみに施す場合とがある。さらに、転動軸3の端面3bが他の部品と接触する場合には、摩耗防止のため端面3bにも高周波焼入れを施す場合がある。

【0027】なお、本実施形態は本発明の一例を示したものであって、本発明は本実施形態に限定されるものではない。例えば、本実施形態においては、遊星歯車用のラジアルニードルころ軸受を例示して説明したが、本発明の転動軸は他の種類の様々な転がり軸受に対して適用することができる。また、転がり軸受に限らず、他の転動装置に適用することも可能である。

【0028】次に、上記の実施形態における転動軸3とほぼ同様の転動軸について、寿命試験を行った結果を説明する。転動軸を構成する鋼としては、表1に示すような組成を有するS U J 2、S 5 5 C（J I S）、S A E 5 1 6 0、及びS C r 4 2 0（J I S）を用いた。なお、表1及び後述する表2においては、S U J 2をA、S 5 5 CをB、S A E 5 1 6 0をC、S C r 4 2 0をDと示してあり、また、以降の説明においても同記号により表記する。

【0029】

【表1】

	C	S i	M n	C r
A	1.00	0.26	0.39	1.46
B	0.52	0.17	0.81	0.82
C	0.45	0.23	0.80	1.02
D	0.21	0.28	0.67	1.10

各元素の濃度の単位：wt %

【0030】そして、上記の鋼に、表2に示すような表面処理を施して、表2に示したような物性の表面層及び芯部を備えた転動軸を完成した。なお、窒素濃度は発光分光分析装置により、また、残留オーステナイトはX線回折装置により、それぞれ測定した。

【0031】

【表2】

(5)

	鋼 ¹⁾	表面層		表面層を除く 高周波焼入れ 部の硬さHv	芯部 硬さ Hv	表面処理 方法 ²⁾	寿命 (L ₁₀)	クリープ曲線試験 曲がり量 μm	0.5 mm塑性変形 荷重 N
		窒素濃度 wt%	γ _N ³⁾ vol%						
実施例1	A	0.05	15	750	450	□	2.0	2	5500
実施例2	A	0.4	40	746	400	□	3.8	3	4800
実施例3	B	0.05	17	700	300	□	2.2	2	4200
実施例4	B	0.4	42	720	450	□	4.0	3	5500
実施例5	A	0.4	40	750	190	イ	3.6	3	2500
比較例1	A	0	12	745	745	ハ	1.2	30	6700
比較例2	B	0	10	680	680	ハ	1.0	18	6600
比較例3	A	0.5	45	750	750	ニ	1.5	35	6800
比較例4	B	0.55	47	700	680	ニ	1.7	20	6500
比較例5	C	0	8	630	230	ホ	0.9	3	2800
比較例6	D	0	40	746	270	ヘ	0.8	3	3500

1) 表1参照

2) 残留オーステナイト

3) イ: 浸炭窒化-高周波焼入れ-焼戻し

ロ: 浸炭窒化-調質-高周波焼入れ-焼戻し

ハ: 焼入れ・焼戻し

ニ: 浸炭窒化-焼入れ・焼戻し

ホ: 高周波焼入れ-焼戻し

ヘ: 浸炭-調質-高周波焼入れ-焼戻し

【0032】表2の表面処理の条件を詳細に示す。

・浸炭窒化: RXガス+エンリッチガス+アンモニアガス雰囲気下で、2~5時間行った。

・浸炭: RXガス+エンリッチガス雰囲気下で、2~4時間行った。

・焼入れ: 830~870℃で0.5~1時間行った。

・焼戻し: 160~450℃で1.5~2時間行った。

・高周波焼入れ: 周波数30KHz, 電圧10KV, 電流10A, 転動軸の送り速度2~8m/sec, 冷却水35L/minの条件で焼入れを行った。

【0033】なお、表面層の窒素濃度は、浸炭窒化において雰囲気中のアンモニアガスの濃度を1~7vol%の範囲で変化させることにより調整した。また、表面層の硬さは、高周波焼入れにおける転動軸の送り速度又は焼入れ温度を変化させることにより調整した。また、芯部の硬さは、焼戻し温度により調整した。寿命試験は、

(6)

9

直径10mmの転動軸をシエル型ニードル軸受（内径10mm、外径14mm、幅10mm）に取り付けて、日本精工株式会社製のボックス型試験機により行った。そして、転動軸の回転数は5000rpm、転動軸へのラジアル荷重は1500Nで、#68タービン油にFe₃C粉（硬さHv870、平均径74~147μm）を300ppm混入したものを潤滑油として用いるという潤滑条件により試験を行った。評価は、軸受の振動が初期の3倍となったときのL₁₀を寿命として、ずぶ焼きの鋼Bからなる転動軸のL₁₀を1とした相対値で示した。

【0034】また、転動軸の曲がりに対する芯部の残留オーステナイト及び硬さの影響を調べるために、転動軸の曲げ試験を行った。試験は直径10mm、長さ120mmの転動軸を100mmの間隔で固定支持し、その中央部に曲げ荷重を加えた。クリープ曲げ試験は、160℃下で荷重1000Nを加え25時間保持した後の転動軸の曲がり量を測定した。0.5mm塑性変形試験は、常温で転動軸に加える荷重を徐々に増加させていき、0.5mmの塑性変形が生じる荷重を測定した。これらの結果を表2に示す。

【0035】表2に示すように、実施例1~4はいずれも芯部の残留オーステナイトが0vol%で、窒素濃度、表面層の硬さ、芯部の硬さも本発明の範囲を満たしていて、曲がりの小さい転動軸となっている。また、実施例5は芯部の硬さは本発明の範囲を満たしていないものの、残留オーステナイトは満たしているので曲がり小さくなっている。

【0036】この結果から、芯部の残留オーステナイトを0vol%とすることで、クリープ曲げ試験による曲がり量が極めて小さくなることが分かる。また、芯部の硬さがHv300を越えると、転動軸の塑性変形に必要な荷重が大きくなることが分かる。比較例1, 2は、従来のずぶ焼きによる転動軸であり浸窒が施されておらず、表面層の残留オーステナイトも本発明の範囲外であるため、耐表面疲労性に乏しい。特に、芯部の残留オーステナイトが7~12vol%と高く、塑性変形が生じ易いので、転動軸の曲がりが大きく短寿命であった。

【0037】また、比較例3, 4は、浸窒が施してあるが、表面層の硬さ及び芯部の硬さは本発明の範囲内であるが、表面層の残留オーステナイトは本発明の範囲外であった。そのため、ダンパー効果が不足する結果となり、耐表面疲労が低下して短寿命であった。特に、芯部の残留オーステナイトが高いので、転動軸の曲がり量が比較例1, 2と同様に大きい。

【0038】これらの結果から、転動軸の表面層は、窒素濃度が0.05~0.4wt%、残留オーステナイトが15~40vol%、硬さがHv650以上（韌性の点から、Hv770程度を上限とすることが好ましい）であることが好ましく、特に転動軸の曲がりに対しては、芯部の硬さがHv300~500、芯部の残留オース

10

ステナイトが0vol%であることが好ましいことがわかる。特に、表面層の窒素濃度と表面層及び芯部の残留オーステナイトとは重要である。

【0039】次に、この2つのパラメータ（表面層の窒素濃度及び残留オーステナイト）について、さらに詳細に検討するため、前述の寿命試験よりも厳しい条件により寿命試験を行った。この試験に使用した転動軸は前記の実施例3, 4と同様にして製造したものであり、表面層の硬さをHv720、芯部の硬さをHv400、芯部の残留オーステナイトを0vol%に固定し、表面層の窒素濃度及び残留オーステナイトについては変化させたものを各種用意して、寿命試験に用いた。

【0040】寿命試験の方法は、転動軸の回転数を7000rpm、転動軸へのラジアル荷重を1568Nとした以外は、前述の試験と同様である。まず、表面層の硬さ、芯部の硬さ、芯部の残留オーステナイトを上記の値に固定するとともに、表面層の窒素濃度を0.1wt%に固定し、表面層の残留オーステナイトを種々変化させた場合の結果を図2に示す。なお、図2のグラフの縦軸は、前記比較例2の寿命L₁₀を1.0としたときの相対値である。

【0041】表面層の残留オーステナイトが15~40vol%のものは、良好な寿命を示し、特に、20~35vol%のものは非常に優れていた。次に、表面層の硬さ、芯部の硬さ、芯部の残留オーステナイトを上記の値に固定するとともに、表面層の残留オーステナイトを25vol%に固定し、表面層の窒素濃度を種々変化させた場合の結果を図3に示す。なお、図3のグラフの縦軸は、前記比較例2の寿命L₁₀を1.0としたときの相対値である。

【0042】窒素濃度が0.05~0.4wt%のものは、寿命が1.5以上と優れた値を示した。また、0.1wt%以上とすることにより寿命がほぼ安定し、0.2wt%以上ではほぼ飽和していることが分かる。また、0.4wt%を越えると、熱処理後の加工（研磨、研削等）に時間を要し、浸窒にも時間を要する。したがって、寿命と加工性とのバランスから、0.1~0.3wt%とすることがより好ましい。

【0043】以上のことから、表面層の窒素濃度及び残留オーステナイトを最適な値に組み合わせれば、転動軸を特に長寿命化できることが分かる。すなわち、本発明の転動軸は、ニードル軸受等の転動軸などのように内輪を備えておらず、転動軸が転動部材として用いられるような場合で、しかも潤滑条件が厳しく、高荷重や衝撃力を受けるような条件下で使用される場合において、大変有効である。

【0044】転動軸を構成する鋼として、炭素を0.5~1.2wt%含有する炭素鋼（合金鋼でもよい）であるSCr, SC, SK, SKS, SCM, SNCM, 高炭素Cr軸受鋼などを用い、表面から0.05mm以上

(7)

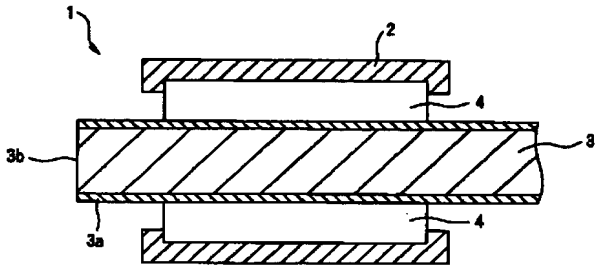
11

2%Da以下の部分に窒素を0.05~0.4wt%侵入(浸窒)させた後に高周波焼入れを行うことにより耐表面疲労性(耐摩耗性)を向上させ、さらに、芯部の残留オーステナイトを0vol%として、あるいは芯部の残留オーステナイトを0vol%とし且つ芯部の硬さをHv300~500として、外力や熱によって転動軸が塑性変形しないようにしたのである。

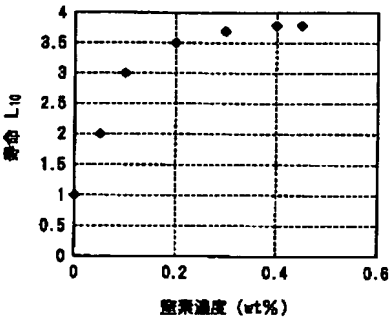
【0045】窒素は炭素に代わる固溶強化元素であることから、耐表面疲労性を損なう原因となるオーステナイト結晶粒の粗大化を防ぐことができる。また、表面層の残留オーステナイトを15~40vol%とすることも、耐表面疲労性を向上させる効果がある。そして、表面層下に韌性を有する芯部が存在することで、転動軸に耐衝撃性が付与される。

【0046】表面層の窒素濃度及び残留オーステナイトに加えて、表面層の硬さ、芯部の硬さ、芯部の残留オーステナイトを最適な値に組み合わせることにより、優れた耐表面疲労性を有し、塑性変形の生じにくい転動軸と

【図1】



【図3】



12

することができる。

【0047】

【発明の効果】以上のように、本発明の転動軸は、耐転がり疲労性に優れていて、塑性変形が生じにくい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態である転動軸を備えたラジアルニードルころ軸受の断面図である。

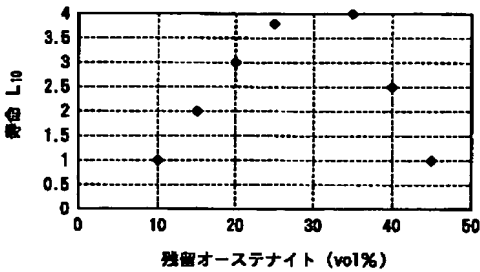
【図2】表面層の残留オーステナイトと寿命との関係を示すグラフである。

【図3】表面層の窒素濃度と寿命との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

- 1 ラジアルニードルころ軸受
- 2 外輪
- 3 転動軸
- 3a 表面層
- 4 転動体

【図2】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.